

水泥-泡沫沥青半柔性冷再生混合料 物理力学性能研究

李秀君^a, 范宏建^b, 武照融^a

(上海理工大学 a. 环境与建筑学院; b. 管理学院, 上海 200093)

摘要: 目前,我国很多地区都在针对水泥混凝土损坏路面展开大量的改造工程,然而反射裂缝是改造后沥青面层后出现的常见问题,由于半柔性道路材料兼有高强度和高韧性的特点,可用作加铺中的应力吸收层,用来解决出现反射裂缝的问题,因此,本文在泡沫沥青冷再生技术研究成果的基础上,研发了水泥-泡沫沥青半柔性冷再生混合料,并通过与两种冷再生工程中常用的泡沫沥青混合料进行对比试验研究,发现其具有良好的物理力学性能,能够获得较好的密实性、理想的高承载性与高韧性以及较高的抗剪强度,希望能为解决旧水泥路面加铺沥青面层发生反射裂缝问题,提供一种新的方法。

关键词: 水泥-泡沫沥青混合料; 泡沫沥青; 力学性能

中图分类号: TU502

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)06-0184-04

Research on the physical and mechanical performance of the semi-flexible cold-recycled material with cement-foamed asphalt

LI Xiujun^a, FAN Hongjian^b, WU Zhaorong^a

(a. School of Environment and Architecture, b. Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: At present, aimed at the damage of the cement road surface in many regions of china, a lot of renovation projects are carry out, however reflective crack is the common problem when the asphalt surface layer is added on the old cement road surface. With the material characteristics of high strength and high tenacity, the semi-flexible material witch taken as a stress absorbed layer is used to solve the problem of reflective crack. Therefore, based on the research achievement of cold-recycled technology using foamed asphalt, the semi-flexible material with cement-foamed asphalt has been invented. By comparing two kinds of general cold-recycled mixtures using foamed asphalt, it is found that the semi-flexible material has good physical and mechanical properties, and it can gain better density and the ideal high-performance of load-carrying and toughness and higher shear strength, if it is used as a stress absorbed layer. So the material can reduce the emergence of reflective crack.

Key words: cement-foamed asphalt material; foamed asphalt; mechanical performance

泡沫沥青冷再生混合料具有造价低、环保节约、施工便利等特点,而在大量泡沫沥青冷再生应用工程中发现沥青路面的铣刨料骨料和细料均偏少,而针对普通泡沫沥青冷再生混合料的设计方法,只需向铣刨料中添加一定量的细料,即可满足原目标级配范围,而对于粗骨料的要求没有那么严格,通常不需要添加也能满足级配要求。本文希望研发一种水泥-泡沫沥青新型半柔性冷再生材料,能更好的处理水泥路面加铺沥青面层发生反射裂缝的问题,增加旧水泥混凝土路面加铺沥青面层的使用寿命,因

此,为实现常用泡沫沥青冷再生混合料半柔性的材料功能,本文在原有泡沫沥青冷再生混合料设计级配的基础上,对其混合料级配进行两个方面的改进:适当增加了骨料的用量,使其能够形成一定的嵌挤骨架结构;适当增加了细料的用量,使其能够与胶结料能够形成较多的胶浆,依靠凝结前其充足的流动性,来填充骨架空隙形成密实结构,并选择两种冷再生常用泡沫沥青混合料进行对比试验,展开其物理力学性能的研究。

收稿日期:2012-07-19; 修回日期:2012-09-11

作者简介:李秀君(1976-),女,江苏江阴人,博士,副教授,主要从事路面工程及路面材料的教学与研究工作。

通讯作者:范宏建(1986-),男,河北人,硕士研究生,研究方向:道路材料设计、道路结构设计、路基路面工程。

1 试验准备

1.1 原材料

铣刨料、碎石、石屑、普通硅酸盐水泥、沥青(AH-70)、水等。

1.2 级配

经研究,本文提出了具有半柔性特征的水泥 – 泡沫沥青半柔性冷再生混合料的建议级配范围和级配范围图,见表 1 和图 1。

表 1 水泥 – 泡沫沥青半柔性冷再生混合料级配范围

筛孔	0.075	0.15	0.3	0.6	1.18	2.36	4.75	9.5	13.2	16	19	26.5	31.5
通过率上限	12.0	15.0	18.0	20.0	25.0	35.0	45.0	60.0	80.0	90.0	95.0	100	100
通过率下限	5.0	7.0	9.0	12.0	16.0	22.0	32.0	40.0	50.0	60.0	75.0	88.0	100

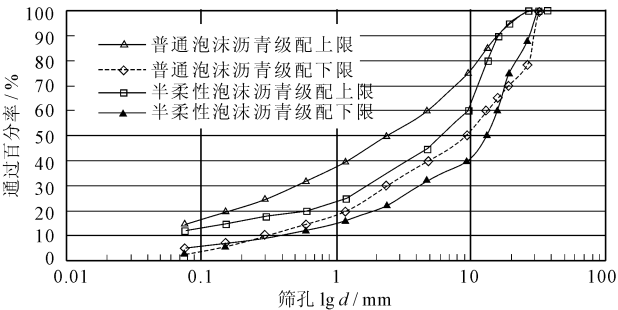


图 1 级配范围比较图

为测试所研发半柔材料的性能,选择的 A、B、C 3 种级配混合料级配组成方案,试验所用集料级配

范围,见表 2 所示, A 级配混合料:88.5% RAP + 10% 石屑 + 1.5% 水泥; B 级配混合料:78.5% RAP + 10% 碎石 + 10% 石屑 + 1.5% 水泥; C 级配混合料:58.0% RAP + 25% 碎石 + 15% 石屑 + 2.0% 水泥, A、B、C 3 种混合料级配曲线图,见图 2,其中, A、B 级配混合料为沥青路面泡沫沥青冷再生工程中常用级配混合料,其 RAP 利用率相对较高,尤其是 A 级配混合料的粗集料含量相对偏少,与 A 级配混合料相比,B 级配混合料只是适当增加了粗集料的含量;C 级配混合料为本文所研发半柔性的级配泡沫沥青冷再生混合料。

表 2 试验所用材料级配

矿料名称	通过下列筛孔的百分率													
	37.5	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
RAP	100	100	99.3	96.1	93.4	88.3	75.9	45.2	23.9	11.4	6.2	2.6	1.6	1.0
碎石	100	100	99.3	31.7	7.3	1.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
石屑	100	100	100	100	100	100	100	100	90.4	62.0	45.0	28.2	19.6	13.1
水泥	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96.3

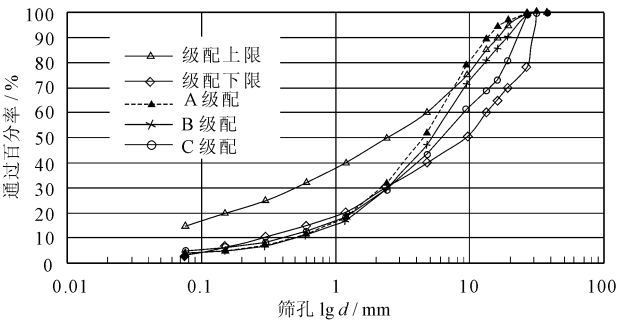


图 2 3 种级配混合料级配曲线

1.3 最佳拌和用水量

通过土工击实试验得出 3 种级配混合料的最大干密度与最佳含水量,最佳拌和时的用水量采用最佳含水量的 80%^[2],由此计算最佳拌和用水量,结果见表 3。

1.4 沥青最佳发泡条件

采用镇海 AH-70 沥青,使用维特根公司的 WLB10 室内沥青发泡机进行发泡试验,其最佳发泡

条件及发泡效果见表 4。

表 3 3 种级配混合料击实结果

级配类型	最大干密度	最佳含水量	最佳拌和用水量
A	2.168	5.75	4.60
B	2.189	6.10	4.88
C	2.218	6.25	5.00

表 4 镇海 AH-70 沥青最佳发泡条件

沥青	发泡温度	发泡用水量	膨胀率 (倍)	半衰期
镇海 AH-70	160	2.5	15	13

1.5 试件成型与养护

将配好的 A、B、C 3 种级配混合料,拌和后,按试验操作规范,部分制成标准的马歇尔试件,每面击实 75 次,作为劈裂试验试件;部分采用静压成型法制成 $\Phi 150\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ 圆柱体试件,作为无侧限抗压强度试验、无侧限抗压回弹模量试验及单轴贯入试验试件^[3]。各种试件成型后,按规定要求,A、B

级配混合料试件,在室温下养生 24 h 后脱模,C 级配混合料,由于水泥含量增多,为使水泥能充分水化,故将 C 级配混合料试件需在室温下养生 48 h 后脱模,最后,将 3 种级配混合料试件脱模后再置于 40℃ 的通风烘箱中养生 72 h,试件养生结束后,即可进行相关的性能研究。

2 材料属性研究

为进行混合料材料属性的研究,本文通过顶面法测定 A、B、C 3 种级配混合料 20℃ 的无侧限抗压回弹模量,按现行《公路沥青路面设计规范》(JTJ014-97)进行材料无侧限抗压回弹模量计算,试验结果见图 3 和图 4。

从图 3 和图 4 可见,掺加 2.0% 水泥用量的 C 级配混合料,在 4 种沥青用量下的无侧限抗压回弹模量在 800 ~ 1 200 MPa 之间,均显著高于 1.0% 和 1.5% 水泥用量时的 A、B 和 C 级配混合料,而 C 级配混合料在 1.0% 和 1.5% 水泥用量下,相对 A、B 级配混合料的抗压模量差别不大,这说明其混合料,相对于普通泡沫沥青冷再生混合料,适当增加水泥用量,在与沥青的交互作用下,可以提高柔性混合料的刚度,使其柔性材料具有了半柔性材料属性,但当水泥含量继续添加,其模量值可能超过半刚性基层材料,最终使其半柔性的特征丧失,因此,应适当控

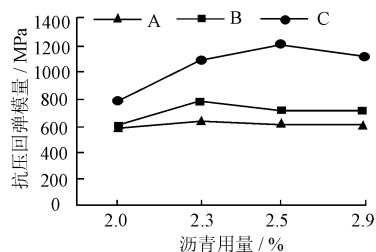


图3 三种混合料(C-2.0%水泥)无侧限抗压回弹模量

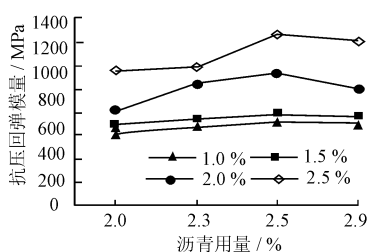


图4 C混合料不同水泥用量的无侧限抗压回弹模量

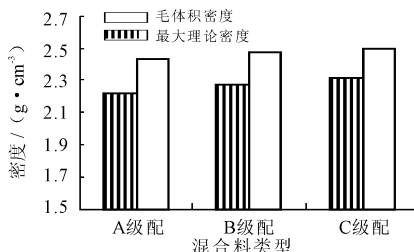


图5 三种混合料的毛体积密度、最大理论密度

4 力学性能研究

4.1 抗拉性能

为进行混合料抗拉性能的研究,本文通过劈裂试验,测定 A、B、C 3 种级配混合料在 4 种沥青用量下 25℃ 时的干、湿劈裂强度,试验结果见图 7 和图 8 所示。

由图 7 和图 8 可见,在 2.0% 沥青用量时,C 级配混合料的干湿劈裂强度分别只有 0.25 和 0.18 MPa,均低于 A、B 级配混合料,但随着沥青用量增加,C 级配混合料的干湿劈裂强度均明显增加,且在 2.6% 沥青用量时,已经明显高于 A、B 级配混合料,

制增加的水泥用量,以使得这种半柔性混合料能够获得理想的刚性和韧性,从而能为实际工程所应用,因此,本文通过试验研究建议水泥-泡沫沥青冷再生半柔性混合料的水泥用量为 1.8% ~ 2.2%。

3 物理性能研究

为进行半柔性混合料物理性能的研究,本文通过蜡封法和真空法分别测定 A、B、C 3 种级配混合料在 2.3% 沥青用量下对应的毛体积密度和最大理论密度,并计算 3 种级配混合料的空隙率,试验结果见图 5 和图 6。

从图 5 和 6 可见,C 级配混合料两种密度分别达到了 2.38 和 2.61 g/cm³,均明显高于 A、B 级配混合料,同时相对 A、B 级配混合料的空隙率,C 级配混合料空隙率最小,由于泡沫沥青冷再生混合料的空隙率,是因拌和时加入的水挥发后形成的空隙,而本文研究却发现,C 级配混合料的拌和用水量明显高于其它两种混合料(最佳拌和用水量见表 2),而其空隙率最小,这是由于 C 级配混合料,相对于 A、B 级配混合料,其适当增加的细料和水泥,已经较好填充骨料空隙的缘故,这说明水泥-泡沫沥青半柔性冷再生混合料的级配能够具有很好的密实性与水稳性,进而可提高整个路面的水稳性能。

这是由于 C 级配混合料,相对于 A、B 级配混合料,其增加的细料与水泥,与沥青能形成更多的沥青胶浆,可较好粘结互相嵌挤骨料的缘故,进而使其能获得较好的抗拉性能,但沥青过量不能过多,因为过多的沥青,会使混合料中的自由沥青增多,沥青胶浆的粘聚力减小,所以图中混合料干湿劈裂强度,会有随着沥青含量增加有减小的趋势,因此,本文建议水泥-泡沫沥青半柔性冷再生混合料的沥青用量为 2.4% ~ 2.8%。

4.2 抗压性能

为进行混合料抗压性能的研究,本文通过无侧

限抗压强度试验,加载速度为 5mm/min,测定 A、B、C 3 种级配混合料 20℃ 时的抗压强度,试验结果见图 9 和图 10。由图 9 可见,掺加 2.0% 水泥用量的 C 级配混合料,在四种沥青用量下的无侧限抗压强度为 2.4~3.6 MPa,均明显高于 A、B 级配混合料,这说明半柔性混合料,相对于普通泡沫沥青混合料,具有较好的抗压性能,能提高路面的抗压性能,同时由图 10 可见,对于 C 级配混合料在低水泥用量下,其抗压强度均超过了在高水泥用量下的 A、B 级配混合料,这说明水泥-泡沫沥青半柔性冷再生混合

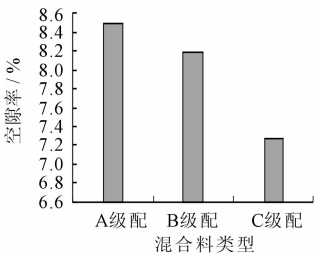


图 6 3 种混合料的空隙率

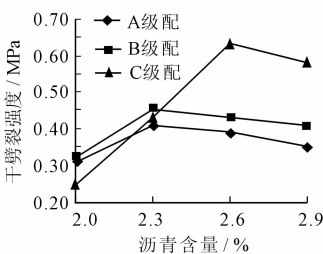


图 7 3 种级配混合料的干劈裂强度

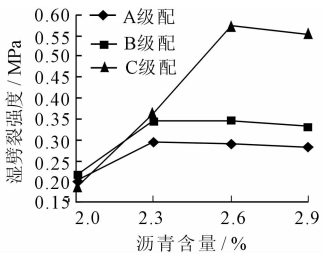


图 8 3 种级配混合料的湿劈裂强度

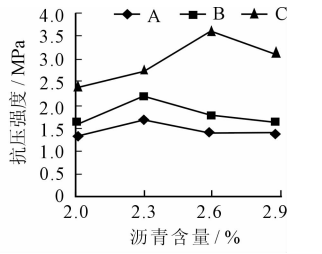


图 9 3 种混合料无侧限抗压强度

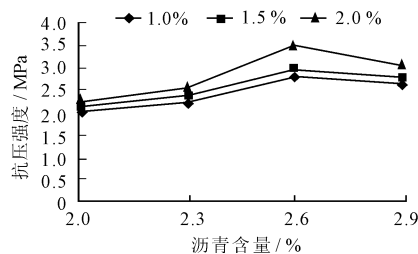


图 10 C 混合料不同水泥用量下的无侧限抗压强度

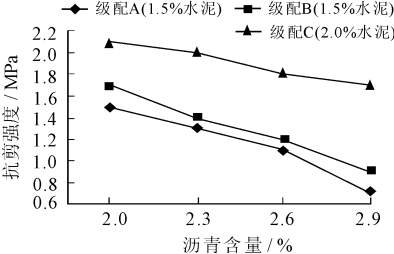


图 11 三种级配混合料的抗剪强度

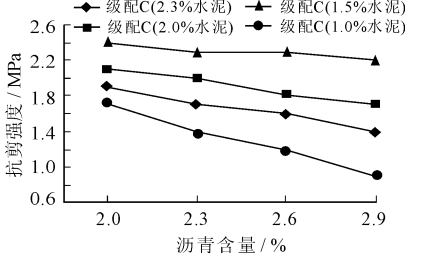


图 12 C 混合料不同水泥用量下的抗剪强度

从图 11 可见,掺加 2.0% 水泥用量的 C 级配混合料,在四种沥青用量下的抗剪强度为 1.8~2.2MPa,明显高于 A、B 级配混合料,由图 12 可见,对于 C 级配混合料在低水泥用量下,其抗剪强度也均高于 A、B 级配混合料,这说明水泥-泡沫沥青半柔性冷再生混合料,相对于普通泡沫沥青混合料,可以具有较好的抗剪强度,但随着水泥用量增至 2.3% 时,C 级配混合料的抗剪强度虽也不断增长,但增长趋势已不明显,而此时混合料的韧性不足而脆性增加,同时,在 4 种沥青用量下,其抗剪强度均随沥青用量的增加呈现下降趋势,这是由于随着沥青量的变大,自由沥青在集料间发挥了一定的润滑作用的原因,因此,合理掺加水泥和沥青用量是半柔性泡沫沥青混合料具有较好的抗剪性能的保证。

5 结 语

通过对比试验研究发现,相对于冷再生常用两

料的级配组成,相对于普通泡沫沥青冷再生混合料,已经形成一定的骨架结构,进而提高了其混合料的抗压性能。

4.3 抗剪性能

为进行混合料抗剪性能的研究,本文通过单轴贯入试验^[4],测定 A、B、C 3 种级配混合料 40℃ 时的抗剪强度。单轴贯入试验所用压头为直径 28.5 mm 的圆柱形刚性压头,加载速率为 1mm/min,进行单轴贯入试验前,需将试件在 40℃ 恒温箱中保温 6h 以上,试验结果见图 11 和 12 所示。

种泡沫沥青混合料,半柔性泡沫沥青冷再生混合料,有着良好的密实性和水稳性能,较好的抗拉性能,抗压性能以及抗剪性能,同时,通过试验研究结果,针对合理掺加水泥和沥青用量,建议其水泥用量为 1.8%~2.2%,沥青用量为 2.4%~2.8%,以实现其应用价值。

参考文献:

[1] 张肖宁,邹桂莲,王绍怀. 旧混凝土路面上沥青加铺层的抗反射裂缝能力[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2001,29(8):82-85.
[2] 同济大学,杭州市公路局. 泡沫沥青冷再生技术的应用研究[R],2007.
[3] 拾方治,孙大权,罗芳艳,等. 泡沫沥青混合料物理力学特性的试验研究[J]. 公路,2004(5):144+148.
[4] 李秀君. 泡沫沥青冷再生混合料设计方法优化[D]. 上海:同济大学,2009.